



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Metodología para la evaluación de riesgos por deslizamientos en líneas de conducción de hidrocarburos

Claudia Catalina Prieto Rodríguez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ingeniería, Unidad de Posgrados
Posgrado en Geotecnia
Bogotá, D. C., Colombia

2011

Metodología para la evaluación de riesgos por deslizamientos en líneas de conducción de hidrocarburos

Claudia Catalina Prieto Rodríguez

Trabajo final de Maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería – Geotecnia

Modalidad – Profundización.

Director:

(PhD., M.S.C Ingeniero Civil) Carlos Eduardo Rodríguez Pineda

Línea de Investigación:

Taludes Laderas cauces y zonificación geotécnica

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ingeniería, Unidad de Posgrados

Posgrado en Geotecnia

Bogotá, D. C., Colombia

2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien me enseñó el valor de la disciplina, la constancia y el dominio propio, me dió la fortaleza para seguir cuando mis fuerzas fallaron y la sabiduría para concluir este ciclo sobre toda dificultad, a quien debo todo lo que soy y lo que tengo. (Josué 1: 9) Porque durante el desarrollo de este documento llegué a sus pies, volví a nacer... toda gloria y honra para él.

A mi padre, mi madre y mi hermana, que son mi apoyo, mi bendición, los responsables que sea lo que soy hoy. A mi padre por enseñarme a trabajar, a ser una berraca, a ser una profesional honesta y responsable. A mi madre por todo el tiempo que dedicó a formarnos, a hacer de nosotras unas mujeres de bien, por todas las carreras en las que se vio envuelta para que yo pudiera entregar este documento, por sus oraciones y su sabiduría infinita. A Juliet, porque es mi ejemplo, su carácter es para mí, motivo de orgullo y admiración total, porque fui bendecida con la mejor de las hermanas.

A mi futuro esposo, mi cómplice, mi amigo, mi polo a tierra, mi compañero de camino por siempre... porque con su amor ha apoyado mis luchas, aun cuando éstas han implicado sacrificios.

A mis jefes, porque sin su apoyo no habría podido lograrlo, por creer en su gente, por ser tan humanos, por involucrarse, por entender que detrás de cada empleado hay un mundo, un ser dispuesto a ponerse la camiseta para hacer patria con Ingeniería honesta y responsable. Me encanta ser parte de la familia CONCAY S.A.

Al profe Carlos por su paciencia y apoyo, por creer en mí desde siempre, por su confianza y en especial, por todas y cada una de sus enseñanzas, que estoy segura, llevaré en mi vida por siempre.

A mi amigo Néstor Castro, mi lanza, desde el primer día, mi mejor amigo... lo logramos! Y juntos...

by, Cata Prieto

RESUMEN

En el desarrollo de este Trabajo final de Maestría se plantea una metodología para la evaluación de riesgos de derrame, incendio y explosión, ocasionados por la falla de una tubería de transporte de hidrocarburos como consecuencia de un proceso de remoción en masa. La metodología tiene su fundamento en los desarrollos de diferentes autores sobre cada tema en particular, que basados en el concepto de probabilidad combinada y teniendo en cuenta las condiciones de frontera de los estudios previos, permite su adaptabilidad al objeto de estudio y con ello dimensionar el riesgo secundario que se esté evaluando.

Este trabajo enfatiza en la parte conceptual que da origen a la metodología, revisando los planteamientos en materia de riesgo, amenaza y vulnerabilidad de cada uno de los escenarios considerados.

Palabras clave: Riesgo, amenaza, vulnerabilidad, tuberías para transporte hidrocarburos, deslizamientos.

ABSTRACT

This document sets out a methodology for assessing risk of leakage, fire and explosion, caused by the failure of an on shore pipeline as a result of a landslide process. The methodology is based on studies from different authors on each issue, particular is based on the concept of combined probability and the boundary conditions of the previous studies, allows for adaptability in order to study and let that secondary risk being evaluated.

This paper emphasizes on the concepts which gives rise to the methodology, reviewing the approaches to risk, hazard and vulnerability of each of the scenarios

Keywords: Risk, Hazard, Vulnerability, on shore pipelines, landslides.

CONTENIDO

	Pág.
1. CAPITULO 1 – RIESGO	3
1.1 ANÁLISIS DE RIESGO	10
1.2 EVALUACIÓN DE RIESGO	13
1.3 GESTIÓN DE RIESGO	17
1.3.1 Medidas consideradas dentro de la gestión de riesgo.	19
1.3.2 Riesgo en: Transporte de fluidos peligrosos en ductos.....	20
1.3.3 Riesgo en: procesos de remoción en masa (Riesgo Geológico – Geotécnico).	24
2. CAPITULO 2 – AMENAZA	29
2.1 AMENAZA GEOTÉCNICA	29
2.1.1 Factores y su influencia.	32
2.1.2 Materiales y procesos asociados	98
2.2 AMENAZA – FALLA DE LA TUBERÍA	138
2.2.1 Metodologías desarrolladas.....	138
2.3 AMENAZA – DERRAMES, INCENDIOS y EXPLOSIONES	144
2.3.1 Derrames.....	146
2.3.2 Incendios y Explosiones.	159
3. CAPÍTULO 3 - VULNERABILIDAD	180
3.1 METODOLOGÍAS EXISTENTES	188
3.1.1 Bonachea (2006).....	188
3.1.2 Ecopetrol S.A.:	189
3.1.3 Salgado (2005).....	192
4. CAPÍTULO 4 - METODOLOGÍA PROPUESTA	194
4.1 ESTABLECER EL CONTEXTO DEL ANÁLISIS.....	197
4.1.1 Trabajo de escritorio	203
4.1.2 Reconocimiento de campo	206
4.2 ANÁLISIS DE RIESGO= ANÁLISIS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD ...	207
4.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO	221
4.4 MITIGACIÓN DEL RIESGO - MONITOREO	222
4.4.1 Valoración del riesgo.	226
4.4.2 Valoración de consecuencias..	227
5. CAPÍTULO 5 – CASO DE APLICACIÓN.....	235
5.1 ESTABLECER EL CONTEXTO DE ANÁLISIS.....	237
5.2 ANÁLISIS DE RIESGO: ANÁLISIS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD	238
6. CONCLUSIONES DEL DOCUMENTO FINAL	251
7. BIBLIOGRAFÍA.....	253
8. ANEXO 1 – formatos evaluación de campo propuesto por diferentes autores	263

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1-1 Factores que Intervienen en la evaluación del riesgo, Bonachea (2006).....	5
Figura 1-2 Relación entre la amenaza, vulnerabilidad y exposición. Bravo (2009).	5
Figura 1-3 Clasificación de riesgos para las empresas del sector real. Bravo, Sánchez (2007).	6
Figura 1-4 Categorización del riesgo. Esquema planteado por el autor, basado en la categorización de Modarres (2006).....	6
Figura 1-5 Elementos del análisis de Riesgos. Modarres (2006).....	9
Figura 1-6. Ciclo de administración del riesgo. Bravo, Sánchez (2007).....	9
Figura 1-7 Modelo de riesgo - Academia China de la tierra (traducido Cprieto).....	12
Figura 1-8. Formulaciones para estimación de riesgos.	12
Figura 1-9. Factores que afectan la calidad de un análisis de Riesgos. Backlund and Hannu, 2006.	13
Figura 1-10. Esquema Riesgo - ALARP.....	14
Figura 1-11. Modelo de curva F-N. Glade yCrozier (2004).....	16
Figura 1-12. Evaluación de amenazas por deslizamientos y herencia cultural. Sassa (1998)	18
Figura 1-13. Modelo evaluación de riesgo. Shiaw-Wen Tiena, et al (2007)	21
Figura 1-14. Causa de falla de redes y su incidencia en cada continente. Alcántara, Ayala (2002)	23
Figura 1-15. Esquema de gestión de riesgo propuesto por Fell el at (2008).....	26
Figura 1-16. Esquema de gestión de riesgo propuesto por Bell y Glade (traducido Cprieto)	27
Figura 1-17. Modelo planteado para el proyecto RAPCA	28
Figura 2-1. Categorización de tipos de amenaza. Lee y Jones (2004).	29
Figura 2-2. Listado de las causas de los deslizamientos. Turner y Schuster (1996).....	31
Figura 2-3. Factores contribuyentes. Sassa (2009).....	32
Figura 2-4. Esquema de clasificación de procesos en función de su velocidad y contenido de humedad s/Casanova.	33
Figura 2-5. Factores actuantes sobre la estabilidad de un talud.....	36
Figura 2-6. Ciclo geológico de las rocas	38
Figura 2-7. Estructura bandeada de las rocas.....	40
Figura 2-8. Esquema de los principales elementos de un pliegue.	43
Figura 2-9.Estabilidad relativa de algunos minerales comunes – comparación entre Goldich y Bowen.	45
Figura 2-10.Perfiles de suelos residuales a partir de diferentes rocas madre.....	46
Figura 2-11. Esquema perfil de suelo residual.	47

Figura 2-12. Efectos de la mega estructura en la formación de deslizamientos rotacionales. Rivera (2009).	52
Figura 2-13. Estructura primaria de suelos sedimentarios. Fuente Duque y Escobar (2002).	54
Figura 2-14. Escala de dureza de Mohs.	65
Figura 2-15. Curva esfuerzo - deformación. De Freitas (1984). Esquema Price (2009).	67
Figura 2-16. Propiedades mecánicas del macizo rocoso.	68
Figura 2-17. Efecto de las diferentes superficies de las juntas en la resistencia al corte. Gerrard (1988).	69
Figura 2-18. Influencia de la rugosidad en la aplicación de esfuerzos Normales y de corte en las discontinuidades de un macizo rocoso. Price (2009).	69
Figura 2-19. Árbol de decisión, efecto sísmico sobre taludes rocosos. Keefer, 1992 (traducido Cprieto).	71
Figura 2-20. Límites de Atterberg.	73
Figura 2-21. Relación entre la geología y el agua subterránea en taludes. Patton and Deere (1971).	80
Figura 2-22. Representación simplificada del ciclo hidrológico - (Davis y Wiest, 1966).	81
Figura 2-23. Estructuras y configuraciones tipo que pueden dar lugar a efectos de sitio. Coral (1998).	89
Figura 2-24. Efecto de la acción del hombre en la producción de Deslizamientos. Millán y González (2001).	90
Figura 2-25. Ejemplo de deslizamientos causados por rellenos. Cornforth (2005).	91
Figura 2-26. Ejemplos de deslizamientos causados por cortes. Cornforth (2005).	92
Figura 2-27. Incidencia de la vegetación en la estabilidad (Tsukamoto y Kusakabe).	94
Figura 2-28. Influencia de la vegetación en un talud en suelo. Greenwood et al (2004).	95
Figura 2-29. Relación entre la cobertura vegetal, la erosión y la escorrentía - Valladares (2004).	97
Figura 2-30. Tipo de fallas en macizos rocosos - Wyllie y Mah (2004)-Modificado Prieto (2011).	98
Figura 2-31. Desarrollo de deslizamiento curvilíneo Hudson y Harrison (1997).	99
Figura 2-32. Rotura plana -Kovari y Fritz (1984).	102
Figura 2-33. Modelación de falla planar. Hudson y Harrison.	103
Figura 2-34. Ejemplo de círculo de fricción en el análisis.	103
Figura 2-35. Representación gráfica de la falla en cuña.	104
Figura 2-36. Tipos de volcamiento – Goodman y Bray (1976).	105
Figura 2-37. Modelos de volcamiento . Goodman y Bray, 1976 - Willie y Munn (1978).	106
Figura 2-38. Representación gráfica de la falla por volcamiento.	106
Figura 2-39. Tipos de deslizamientos en suelos residuales. Deere y Patton (1971).	109
Figura 2-40. Clasificación Coates (1977).	109
Figura 2-41. Clasificación Varnes (1978).	110

Figura 2-42. Diagrama de análisis método talud infinito.	112
Figura 2-43. Matriz de susceptibilidad de acuerdo con los factores que influyen en la estabilidad.	129
Figura 2-44. Diagrama metodológico del análisis por métodos actuariales. (Bonachea, 2006).	131
Figura 2-45. Diagrama metodológico para la evaluación de modelos de probabilidad espacio temporal y de modelos de peligrosidad. (Bonachea ,2006).	133
Figura 2-46. Metodología empleada en la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura. Almaguer (2005).	137
Figura 2-47. Influencia de los procesos naturales en los desastres ambientales.	145
Figura 2-48. Influencia de los procesos antropogénicos en los desastres ambientales ..	145
Figura 2-49. Cambios progresivos de las propiedades del petróleo por intemperización- Exxon Mobil (2008).	148
Figura 2-50. Rangos de tiempo para efectos contaminantes. Exxon Mobil (2008).	149
Figura 2-51. Ejemplo de matriz de aspectos ambientales. Prieto (2011).	150
Figura 2-52. Metodología para el proyecto ERM. Gupta et al (2001).	155
Figura 2-53. Diagrama de flujo de acciones y Verificaciones ante la ocurrencia de un derrame.	158
Figura 2-54 Tipos de incendio Ferrero (2006)	160
Figura 2-55. Diagrama metodología índice DOW. UPC (1999)	166
Figura 2-56. Esquema de cálculo del índice DOW : factores de bonificación. UPC (1999)	167
Figura 2-57. Metodología FMEA aplicada a ductos. Rodríguez et al (2001).	176
Figura 2-58. Esquema metodología TORAP. Khan & Abbasi (1999)	177
Figura 2-59. Detalle módulo de datos metodología TORAP. Khan & Abbasi (1999).	178
Figura 2-60. Modelo de funcionamiento del software (proceso iterativo). Khan & Abbasi (1999)	179
Figura 3-1. Factores que inciden en la Vulnerabilidad. Millán (2005)	182
Figura 3-2. Enfoque alternativo de la vulnerabilidad. Sauri (2003)	183
Figura 3-3. Diagrama conceptual para la evaluación de la vulnerabilidad (Bonachea, 2006).	189
Figura 4-1. Riesgo secundario en líneas de conducción de hidrocarburos, por procesos de remoción en masa.	194
Figura 4-2. Árbol de eventos - metodología propuesta.	195
Figura 4-3 - Ciclo PHVA.	197
Figura 4-4. Operaciones y pasos de los estudios de Evaluación de Impacto ambiental. Cendrero et al (2001).	198
Figura 4-5. Tipos de análisis de acuerdo con lo encontrado en campo.	208
Figura 4-6. Ejemplo de cálculo de la vulnerabilidad de la tubería sin ponderación de factores.	217

Figura 4-7. Tipos de confinamiento.....	219
Figura 5-1. Medidas de estabilización adoptadas.	235
Figura 5-2. Daño en estructuras de drenaje.....	236
Figura 5-3. Solución parcial frente al problema. -Nótese que el proceso continúa y en este caso el árbol compromete la integridad de la tubería.	237
Figura 5-4. Topografía del área de estudio y perfil derivado de la misma.	238
Figura 5-5. Modelación Back Analysis (retro análisis).	241
Figura 5-6. Comprobación de la estabilidad actual del objeto del estudio.	242
Figura 5-7. Vulnerabilidad de las tuberías en función del desplazamiento y del espesor del mismo.....	243
Figura 5-8. Diagrama de distribución anual de lluvias típico del sector de Villeta.....	245
Figura 5-9. Representación esquemática de la solución gráfica. (ejemplo).....	247

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1 Diferencia entre la metodología cualitativa y cuantitativa. Bravo (2008).	8
Tabla 1-2.Niveles de riesgo aceptable y tolerable, definido por varias fuentes. AGS (2000).	15
Tabla 1-3. Causas de falla de tuberías. Jeglic (2004).	23
Tabla 2-1. Ejemplos de variables más significativas para elaborar modelos de susceptibilidad según varios autores. Bonachea (2006).....	33
Tabla 2-2. Factores de análisis de susceptibilidad del terreno. Almaguer (2005).	35
Tabla 2-3.Tipos principales de discontinuidades en macizos rocosos.	39
Tabla 2-4. Discontinuidades en macizos rocosos - González de Vallejo et al (2004).	40
Tabla 2-5.Tamaño de las partículas. Fuente Duque y Escobar (2002)	50
Tabla 2-6. Discontinuidades en suelos. Bromhead (2005).	52
Tabla 2-7. Agentes y procesos geomorfológicos. (Tomado de Villota, 1991).	57
Tabla 2-8. Geoformas y su clasificación.....	58
Tabla 2-9.Principales parámetros que afectan el fenómeno de erosión por lluvia. Navarro (2009).	63
Tabla 2-10. Procesos de remoción en masa – clasificación propuesta por Varnes.	64
Tabla 2-11.Valores típicos de permeabilidad de la matriz rocosa. González de Vallejo et al (2004).	65
Tabla 2-12. Valores típicos de densidades en rocas. Rodríguez (2006).....	66
Tabla 2-13.Tamices y tipos de suelos para Granulometrías.....	73
Tabla 2-14. Tipos de drenaje.	77
Tabla 2-15.Influencia de la vegetación en el suelo Coppin y Richards, (1990).....	94
Tabla 2-16.Control de la ladera en caídas de rocas. Lara (2007).	108
Tabla 2-17. Clasificación de Sharpe para los flujos lentos	114
Tabla 2-18. Índice de relieve relativo- Nieto y Jiménez (2001).	121
Tabla 2-19. Ponderación del factor tipo de cobertura.	127
Tabla 2-20. Ponderación del factor uso del suelo.....	127
Tabla 2-21. Ponderación del factor pendiente.....	127
Tabla 2-22. Ponderación del factor de precipitación.....	127
Tabla 2-23. Estandarización de los indicadores	127
Tabla 2-24. Identificación de amenazas. Bermúdez y Corredor (2006)	146
Tabla 2-25. Propiedades fisicoquímicas y efectos sobre el medio ambiente del petróleo. Exxon Mobil (2008).	147
Tabla 2-26. Identificación de parámetros de frecuencia. Bermúdez & Corredor (2006)..	156
Tabla 2-27. Identificación de parámetros de intensidad. Bermúdez & Corredor (2006)..	156
Tabla 2-28. Identificación de parámetros de magnitud del daño. Bermúdez & Corredor (2006)	157
Tabla 2-29. Identificación de los niveles de amenaza. Bermúdez & Corredor (2006).	157

Tabla 2-30. Factores de protección	163
Tabla 2-31. Categorías de riesgo en función del valor del índice DOW de incendio y explosión. UPC, 1999	165
Tabla 2-32. Identificación de tareas	169
Tabla 3-1. Resultados finales de agrupación de geosistemas conforme a niveles de vulnerabilidad atendiendo a sus características socioeconómicas. Martínez & Sánchez (2003).	188
Tabla 3-2. Variables e indicadores para evaluación de vulnerabilidad en proyectos. Salgado (2005)	193
Tabla 4-1. Escenarios de análisis de la metodología.	199
Tabla 4-2. Escalas de trabajo propuestas para cada instante de análisis.	200
Tabla 4-3. Diferentes escalas para zonificación de amenaza por deslizamientos. Basado en IAEG (1976).....	201
Tabla 4-4. Guía para utilización de escalas. Vargas (1999)	202
Tabla 4-5. Información básica a tener en cuenta para un adecuado trabajo de escritorio.	203
Tabla 4-6. Información requerida para un adecuado trabajo de escritorio. Vallejo et al (2004)	204
Tabla 4-7. Estudios preliminares para la evaluación de amenaza por procesos de remoción en masa. Lara (2007).	205
Tabla 4-8. Cuadro comparativo - % de incidencia factores en cálculo de amenaza.	209
Tabla 4-9. Matriz de susceptibilidad por deslizamientos. Sánchez y Urrego (2011).	210
Tabla 4-10. Detonante sísmico	211
Tabla 4-11. Calificación de acuerdo al uso del suelo	212
Tabla 4-12. Valoración de acuerdo a la intensidad de lluvias.....	212
Tabla 4-13. Valoración de acuerdo a la distribución de lluvias	213
Tabla 4-14. Matriz de riesgo cualitativo.....	213
Tabla 4-15. Metodología propuesta para la evaluación cualitativa de amenaza geotécnica en Macizos Rocosos. Tomado de Cornforth (2005)	215
Tabla 4-16. Tipo de rotura en tuberías.....	218
Tabla 4-17. Caracterización cualitativa de tuberías de acuerdo a los grados de acero ..	218
Tabla 4-18. Diámetro y espesor de tuberías	219
Tabla 4-19. Consecuencias evaluadas en la Matriz de riesgo de Ecopetrol.....	221
Tabla 4-20. Número de excavaciones de acuerdo a la longitud del ducto.....	223
Tabla 4-21. Niveles de inspección	224
Tabla 4-22. Evaluación de la afectación de cuerpos de agua y suelos	226
Tabla 4-23. Niveles de referencia - Hidrocarburos en suelos para la protección de los Ecosistemas.	232
Tabla 4-24. Valores máximos de emisión de hidrocarburos en Aguas continentales y marinas.....	233

Tabla 4-25. Valores máximos de emisión de hidrocarburos en Aguas Subterráneas.....	233
Tabla 4-26 Evaluación de consecuencias por deslizamientos en las "quick clays" de Noruega.....	234
Tabla 5-1. Factor de materia.....	248

INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo final de Maestría tiene por objeto plantear una propuesta metodológica encaminada a la evaluación de riesgos secundarios (derrames, incendios y explosiones), como consecuencia de fallas puntuales en líneas de conducción de hidrocarburos, a causa de procesos de remoción en masa. Este tema es de particular interés no sólo para la Geotecnia Colombiana, sino para el sector industrial, pues se han dado varios desarrollos en diferentes campos como respuesta a la necesidad imperante de prevenir, mitigar y corregir los efectos secundarios que se producen frente a un derrame de este tipo de sustancias.

Se trata de un documento teórico de compilación a lo largo del cual se expondrán cada uno de los conceptos asociados a riesgo, vulnerabilidad y amenaza en cada uno de los escenarios considerados, para finalmente, una vez evaluada la adaptabilidad de los estudios existentes en cada uno de los sectores, plantear como resultado final una metodología cuya aplicación y ventajas o desventajas de acuerdo con los resultados obtenidos, serán objeto de posteriores investigaciones relacionadas con el mismo objeto.

Los procesos de remoción en masa han sido identificados como una causa de las fallas de líneas de conducción por diferentes autores y sectores, **Brown y Dwyer (2005)** tiene en cuenta dentro de su investigación, los denominados “*ground movements*” como una de las causas de falla de las tuberías. Por otra parte **Esford, Porter y Savigny (2004)** indican que el 52,5% de los incidentes en tuberías Sur Americanas han sido causados por Geoamenazas. A nivel local, **Ballesteros et al (2010)** indican que cerca del 38% (2008) y 21% (2009) de las fallas en las líneas de transporte de Ecopetrol S. A. han sido el resultado de la materialización de la amenaza geotécnica generando impactos ambientales y pérdidas económicas.

A la fecha, no se conoce la existencia de una metodología que permita cumplir con el objetivo de evaluar los riesgos secundarios de un derrame de hidrocarburos producto de un proceso de remoción en masa, es por eso que se busca mediante este trabajo, enmarcar al usuario dentro de la concepción global de un problema, basado en los desarrollos nacionales e internacionales en materia de gestión de riesgos y bajo el enfoque de desarrollo sostenible.

Por encontrarse la vulnerabilidad social fuera del alcance de este documento, se hace referencia a ella desde el punto de vista laboral, es decir, se involucra a los trabajadores de la empresa como la unidad social de este esquema. Por otra parte la componente ambiental está dada por las afectaciones al suelo, agua y aire y la componente económica será aquella que nos permita cuantificar los costos teniendo en cuenta las dos componentes anteriores (multas y compensaciones ambientales – costos de accidentes

laborales), reparaciones (obras de estabilización – reparación de ductos), bio-remediaciones, costos derivados de la interrupción del flujo y pérdidas en material por el derrame.

OBJETIVOS

Plantear una propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por deslizamientos en líneas de conducción de hidrocarburos.

Objetivos Específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica de los estudios de riesgo realizados a nivel industrial en los que se requiera conducción de fluidos peligrosos.
2. Analizar las distintas alternativas existentes para la evaluación de la amenaza por deslizamiento.
3. Identificar y analizar las alternativas existentes para el análisis de la vulnerabilidad física de la tubería.
4. Identificar los elementos expuestos que se consideran vulnerables en el sector industrial de hidrocarburos.
5. Analizar las metodologías de evaluación de riesgo existentes en el sector industrial, para su adaptación al sector hidrocarburos – líneas de conducción.
6. Proponer una metodológica para la evaluación de riesgos debidos a deslizamientos en líneas de conducción de hidrocarburos, basada en los reportes bibliográficos y en la verificación con el sector industrial.

METODOLOGÍA DESARROLLADA

Este estudio obedece a un proceso deductivo-analítico en el cual se revisa desde una óptica técnica y aplicada, los estudios que han sido desarrollados en relación al riesgo en el transporte de fluidos peligrosos en instalaciones industriales y la amenaza por deslizamiento en general, al igual que el concepto de vulnerabilidad.

La investigación planteada contempló la revisión de la información disponible respecto a evaluación de riesgos en general y particularmente en tuberías a nivel industrial, conceptos asociados con los riesgos secundarios a evaluar, metodologías para la evaluación de riesgos por deslizamientos y finalmente la adaptabilidad de las metodologías existentes mediante la identificación de elementos aplicables a una línea de conducción de hidrocarburos cuya amenaza principal son los deslizamientos y cuyos riesgos secundarios pueden ser de acuerdo con el planteamiento: incendios, explosiones o derrames.

Existen una serie de planteamientos para la evaluación de riesgo, algunos de manera general como las establecidas en las normas NTC 5254 y API STD 1160, y otras particulares como las desarrolladas para las instalaciones de plantas industriales. Dentro del concepto de adaptabilidad se busca dar a la metodología propuesta validez interna mediante el análisis técnico y conceptual de los planteamientos metodológicos y validez externa en su correspondencia con estas normas.

1. CAPITULO 1 – RIESGO

“En América Latina la información disponible sobre las causas, variables y consecuencias del riesgo es deficiente y escasamente concuerda con las necesidades de sus evaluadores y de los tomadores de decisiones. En montos absolutos, las pérdidas anuales promedio causadas por las amenazas naturales en América Latina y el Caribe han sido estimadas en US\$ 3.200 millones entre 1975 y 2002”. BID(2005)¹.

El término **Riesgo** proviene del italiano/risico/o/rischio que, a su vez, tiene origen en el árabe clásico rizq (“**lo que depara la providencia**”). El término hace referencia a la **proximidad o contingencia** de un posible daño.

La estimación del riesgo es un tema en el cual intervienen muchas disciplinas; la ciencia, la ingeniería, la tecnología, entre otras, nos permiten acercarnos al concepto de riesgo y su modelación (amenazas, consecuencias), pero son los organismos estatales quienes intervienen particularmente en la toma de decisiones ya sea encaminada a la corrección o mitigación de los impactos sobre los individuos, la industria, la nación, entre otros.

Carreño (2006)² indica que el riesgo como concepto tiene casi tantas definiciones como disciplinas científicas existen, seguramente por este motivo el riesgo no ha sido abordado de forma integral, sino que por el contrario ha sido fragmentado de acuerdo al enfoque de cada disciplina.

En síntesis, los riesgos no son el equivalente a destrucción aunque amenacen con hacerlo. La percepción de los riesgos amenazantes la determina el pensamiento y la acción de los seres humanos. El riesgo es expuesto de forma subjetiva por los individuos y percibido de forma individual de manera que no es definido únicamente por la cantidad de pérdidas económicas sino por la capacidad de interrumpir de forma abrupta el ritmo de vida cotidiana. **Beck (2000), Perry y Montiel (1996)³**.

De acuerdo con **Aven y Kristensen (2004)** existen dos corrientes de pensamiento relacionadas con el concepto de riesgo: 1) La corriente clásica que podemos definir como optimista, en la cual el riesgo existe objetivamente y puede ser medido; y 2) La corriente Bayesiana en la cual se concibe el riesgo como una forma de expresar la incertidumbre. Ambas corrientes son extremas, una positivista y la otra relativista; y entre ellas se mueven los análisis de riesgo en un contexto práctico, cuyo reto consiste en encontrar un equilibrio entre estos dos puntos, sin perder objetividad.

¹ Tomado de Keipi et al, 2005

² Tomado de Berrocal (2008)

³ Tomado de Berrocal (2008)

La **UNDRO⁴ (1991)** presenta las siguientes definiciones respecto al riesgo y sus componentes:

- a. Riesgo⁵ - "Risk": Número esperado de vidas perdidas, personas heridas, daños a la propiedad y la interrupción de la actividad económica debido a un fenómeno natural particular. Es el producto del riesgo específico y los elementos en riesgo (expuestos).
- b. Riesgo específico⁶ - "Specific risk": Grado esperado de pérdida debido a un fenómeno natural en particular y en función de los peligros (amenazas) naturales y la vulnerabilidad.
- c. La peligrosidad o amenaza natural⁷ (Hazard): Probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente dañino en un tiempo y lugar específico.
- d. La vulnerabilidad: El grado de pérdida de un determinado elemento o elementos en situación de riesgo como resultado de la ocurrencia de una catástrofe natural de una magnitud dada. Se expresa en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).

Millán (2005) indica que el riesgo se estima como la magnitud esperada de un daño, que presenta un elemento o sistema, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado. Se evalúa en términos de pérdidas y daños físicos, económicos, sociales y ambientales que podrían presentarse si ocurre el evento amenazante.

Bonachea (2006) plantea en la figura 1-1, el Riesgo como la superposición de la Amenaza y la vulnerabilidad, esta última, expresada a su vez como una función de la exposición y la resistencia.

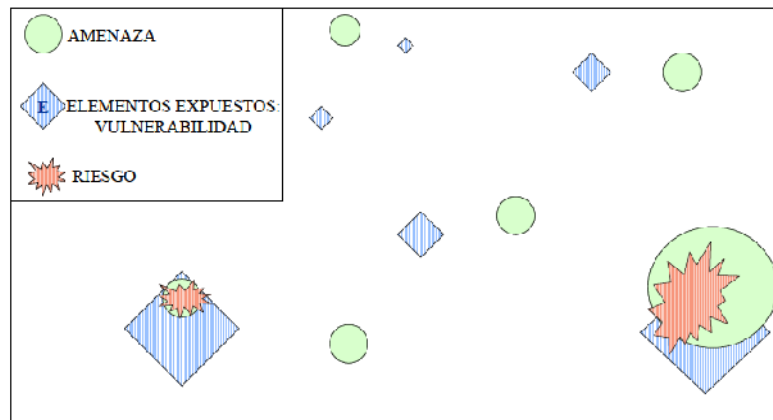
⁴ **UNDRO**: United Nations Disaster Relief Organization.

⁵ Definición literal: "the expected number of lives lost, persons injured, damage to property and disruption of economic activity due to a particular natural phenomenon, and consequently the product of specific risk and elements at risk".

⁶ Definición literal: "The expected degree of loss due to a particular natural phenomenon and as a function of both natural hazard and vulnerability"

⁷ Definición literal: "the probability of occurrence, within a specific period of time in a given area, of a potentially damaging natural phenomenon"

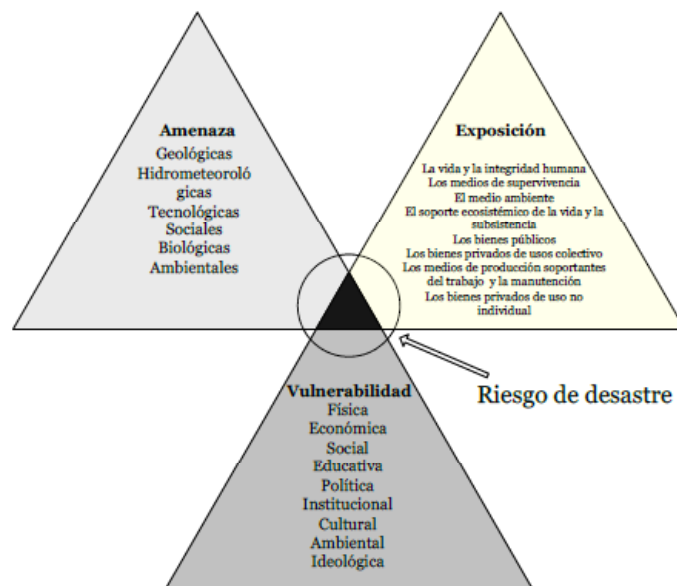
Figura 1-1 Factores que Intervienen en la evaluación del riesgo, Bonachea (2006).



Bravo (2009) indica que la materialización de un desastre puede entenderse como la consecuencia de un riesgo producido al relacionar el peligro o amenaza, la vulnerabilidad y el elemento expuesto (Ver

Figura 1-2 Relación entre la amenaza, vulnerabilidad y exposición. Bravo (2009).

Figura 1-2 Relación entre la amenaza, vulnerabilidad y exposición. Bravo (2009).



Cardona (2007)⁸ define el riesgo como “la probabilidad de pérdidas futuras, es el resultado de existencia de un peligro latente asociado con la posibilidad de que se presenten fenómenos peligrosos y de unas características propias o intrínsecas de la sociedad que la predisponen a sufrir daños en diversos grados”.

La figura 1-3, presenta la clasificación de riesgos para las empresas del sector real que puede ser atribuible a cualquier tipo de industria y en general a cualquier tipo de problema que involucre evaluación de riesgos.

Figura 1-3 Clasificación de riesgos para las empresas del sector real. Bravo, Sánchez (2007).

ESTRATÉGICOS - Riesgos propios de la industria-	ASIGNACIÓN DE RECURSOS - Riesgos de mala asignación de recursos-	RIESGOS OPERACIONALES - Riesgos internos-	ENTORNO - Riesgos ambientales, legislativos, sociales, regulatorios-
<ul style="list-style-type: none"> • Caída en la demanda • Nuevo competidores • Altos costos de materia prima • Pérdida de imagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Pobre ejecución de proyectos • Compra de activos • Recursos insuficientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Errores Humanos • Fallas técnicas • Accidentes • Generar contaminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevas leyes • Embargos • Orden público • Variaciones de precios • Inestabilidad económica

El riesgo en las diferentes disciplinas puede ser categorizado de varias formas, ya sea de acuerdo a las causas del riesgo, la naturaleza de las pérdidas o ambas. **Modarres (2006)** propone una categorización en cinco grandes grupos de acuerdo con el potencial de las pérdidas y se indica en la figura 1-4.

Figura 1-4 Categorización del riesgo. Esquema planteado por el autor, basado en la categorización de Modarres (2006)

Análisis de riesgos de Salud	Análisis de riesgos de seguridad (safety)	Análisis de riesgos de seguridad (security)	Análisis de riesgos financieros	Análisis de riesgos ambientales
<ul style="list-style-type: none"> • Involucra la estimación del potencial de enfermedades y pérdidas de vida de humanos, animales y plantas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Involucra la estimación de daños potenciales causados por accidentes ya sea por eventos naturales o por algún producto, tecnología o sistema hecho por el hombre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Involucra la estimación de accesos y daño causado por guerra, terrorismo, o por la apropiación indebida de información de seguridad nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Involucra la estimación de pérdidas monetarias individuales, institucionales y sociales producto de fluctuaciones tasas de interes, daños en la propiedad, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Involucra la estimación de pérdidas debidas al ruido, contaminación y polución en los ecosistemas y en el espacio. (desechos espaciales).

⁸ Tomado de Bravo (2009).

El análisis de riesgo procura medir la magnitud de las pérdidas asociadas a sistemas complejos que incluyen evaluación, reducción de riesgo y políticas de control. Generalmente las tipos de análisis de riesgo son cuantitativos, cualitativos o una mezcla de los dos:

Porter et al, (2004)⁹, indican cuatro tipos de análisis en la gestión de riesgos por procesos naturales:

Table 1. Risk Estimation Methods		
Method	Description	
1. Risk Matrix	Qualitative estimates of frequency and consequence are expressed separately and combinations are presented in a two-dimensional risk matrix	Matriz de riesgo – metodología cualitativa. Frecuencia y consecuencias presentadas en una matriz.
2a. Semi-quantitative Risk Index	Factors that influence frequency and consequence are assigned values and mathematically combined, usually through summation	Amenaza cualitativa - Consecuencias estimadas.
2b. Quantitative Risk Index	Factors that influence frequency and consequence are assigned values that, when combined through multiplication, give an estimate of failure probability and risk	Índice de riesgo cuantitativo donde queda como resultado una probabilidad de falla y un riesgo.
3. Probabilistic Risk Analysis	Failure frequencies and consequences are estimated quantitatively and combined using probability theory	Adicional a los cálculos cuantitativos se utiliza teoría de probabilidad para realizar un cálculo combinado.

Modarres (2006) define el análisis cuantitativo como aquel que trata de estimar el riesgo en forma de probabilidad de pérdida y evalúa tales probabilidades para tomar decisiones y comunicar resultados. El análisis cualitativo en cambio estima el potencial de pérdida usando escalas lingüísticas como bajo, medio y alto; mediante el uso de una matriz formada por la frecuencia de las pérdidas versus potencial de pérdidas, todo en escala cualitativa. Este último análisis es más simple y sencillo de utilizar y entender que el cuantitativo, pero es en extremo subjetivo.

Según **Treviño (2008)**¹⁰ desde la segunda mitad del Siglo XX, se ha concentrado la búsqueda del conocimiento en dos enfoques principales: el cualitativo y el cuantitativo. Ambos utilizan las siguientes cinco fases:

1. Observan y evalúan los fenómenos de estudio.
2. Pueden establecer suposiciones o ideas, a partir de la observación y evaluación que llevan a cabo.

⁹ ESTIMATING THE INFLUENCE OF NATURAL HAZARDS ON PIPELINE RISK AND SYSTEM RELIABILITY - Porter, et al. Proceedings of IPC 2004 International Pipeline Conference October 4 - 8, 2004 Calgary, Alberta, Canada.

¹⁰ Tomado de Bravo (2008).

3. Ponen a prueba y demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
4. Revisan las suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
5. Proponen nuevas observaciones, evaluaciones e ideas, incluso para generar otras.

Ambos enfoques a pesar de tener ciertas similitudes, muestran algunas diferencias que los caracterizan, como las indicadas en la tabla 1-1.

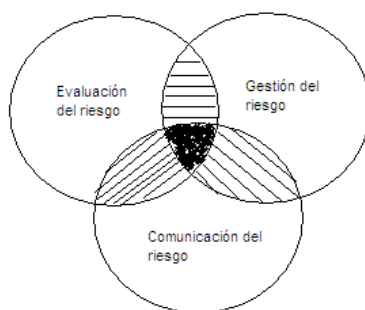
Tabla 1-1 Diferencia entre la metodología cualitativa y cuantitativa. Bravo (2008).

	Cuantitativa	Cualitativa
Paradigma teórico	Positivismos	Etnografía
Presuposición básica	Existe una verdad objetiva en torno a las organizaciones que se revela a través del método científico	La realidad organizativa se construye socialmente
Lógica	Hipotética-deductiva	Inductiva
Objetivos	Fiabilidad y validez	Autenticidad y complejidad
Método básico	Encuestas	Observación, entrevistas

En general, el riesgo está presente en todas las actividades y sectores en los cuales se desarrolla el ser humano, debido a que prácticamente toda actividad a desarrollar tiene implícita una incertidumbre. Por ello es muy importante tener claridad sobre el entorno en el cual se desarrolla el riesgo para con ello tomar decisiones sobre los cursos de acción que se deben tomar y sus resultados.

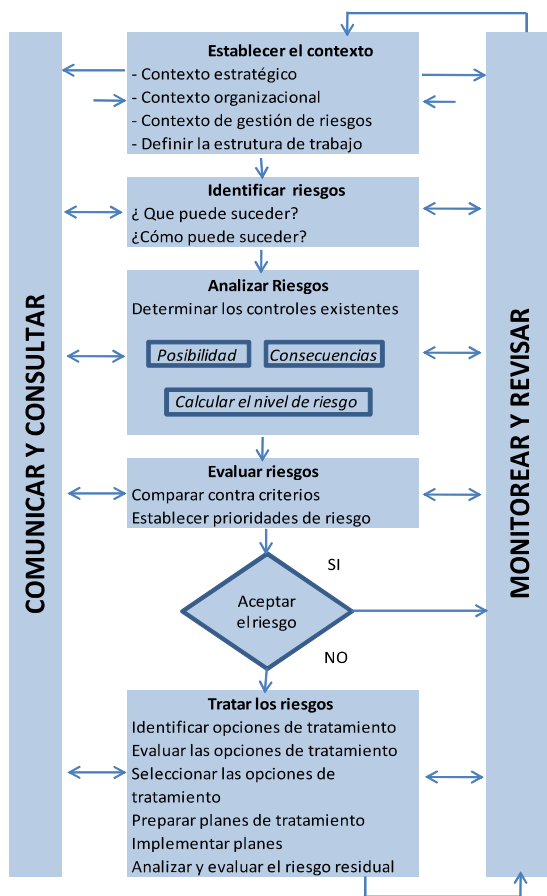
Modarres (2006) indica de acuerdo con lo definido por el Consejo Nacional de Investigación tres elementos fundamentales en el análisis de riesgos: evaluación de riesgos, gestión de riesgos y comunicación del riesgo, lo anterior se muestra en la figura 1-5.

Figura 1-5 Elementos del análisis de Riesgos. Modarres (2006)



La figura 1-6 muestra el ciclo de la administración del riesgo en el cual se resaltan el análisis de riesgo y la evaluación de riesgo como herramientas fundamentales para una adecuada administración y Gestión del riesgo.

Figura 1-6. Ciclo de administración del riesgo. Bravo, Sánchez (2007)



El proceso de gestión y administración del riesgo consiste en la identificación, análisis, evaluación, manejo, monitoreo y comunicación de los riesgos generados en una actividad,

función o proceso, de tal forma que sea posible minimizar las pérdidas y maximizar las oportunidades.

“La administración de Riesgos es una parte fundamental de la Gobernabilidad corporativa que busca contribuir eficientemente en la identificación, análisis, tratamiento, comunicación y monitoreo de los riesgos del negocio¹¹”.

AGS (2000) plantea que el proceso de administración del riesgo consta de tres componentes: Análisis der riesgo, evaluación de riesgo y tratamiento del riesgo. El análisis de riesgo, en general contiene los siguientes pasos: definición del alcance, identificación del riesgo y de estimación de riesgos. La evaluación del riesgo consiste en hacer juicios sobre de la importancia y la aceptabilidad del riesgo estimado. El tratamiento del riesgo es la etapa final del proceso de gestión de riesgos y proporciona la metodología para su control.

1.1 ANÁLISIS DE RIESGO

*“El análisis de riesgo, también conocido como PHA por sus siglas en inglés: **Process Hazards Analysis**, es el estudio de las causas de las posibles amenazas, y los daños y consecuencias que éstas puedan producir”.*

De acuerdo con lo indicado en la Norma **NTC 5254**, el análisis del riesgo consiste en desarrollar el entendimiento del mismo e implica la consideración de las fuentes de riesgo, sus consecuencias positivas y negativas y la posibilidad de que puedan ocurrir.

El riesgo se analiza combinando las consecuencias con su posibilidad, en los diversos grados de detalle dependiendo del riesgo, el propósito del análisis y la información datos y recursos disponibles. De allí que varios autores en los diferentes campos de aplicación desarrollen formulaciones enmarcadas en la definición del riesgo:

- a. **Bell y Glade (2004)** proponen particularmente para el análisis de riesgo la siguiente formulación, teniendo en cuenta la probabilidad de pérdida de vidas en función de la afectación de las estructuras:

$$\text{Ripe} = (H \times Ps \times Pt \times Vp \times Vpe \times Pso) \times Eipe$$

Donde,

(Ripe)= Riesgo individual de una persona en un edificio o probabilidad anual de pérdidas de vidas

H = peligrosidad anual del evento.

Ps = probabilidad de impacto espacial (que el edificio sea afectado)

Pt = probabilidad temporal (que exista gente en el edificio)

¹¹ Norma técnica Colombiana de gestión del riesgo - NTC 5254

Vp = vulnerabilidad del edificio

Vpe = vulnerabilidad de las personas

Pso = probabilidad de ocurrencia en determinadas épocas

Eipe = persona individual

- b. En la industria química a la luz de la definición matemática del riesgo, se ha planteado una serie de índices como los indicados a continuación:

- **Índice FINE:** Elaborado y publicado en 1975, es un método probabilístico, que mediante la ponderación de diversas variables de la inspección nos permite obtener un grado de peligrosidad de cada riesgo, estableciendo magnitudes que determinan la urgencia de las acciones preventivas. Una vez obtenidas las magnitudes se ordenan según su grado de peligrosidad. Se trata de un método no exclusivo de la industria química, en principio apto para valorar cualquier tipo de peligro, de aplicación prácticamente universal y muy simple; su grado de representación de la realidad de un riesgo concreto es prácticamente nulo.

$$\boxed{GP = C \times E \times P}$$

donde; GP: grado de peligrosidad
C: Coeficiente de consecuencias
E: Coeficiente de exposición al riesgo
P: probabilidad de ocurrencia del proceso.

- **Método SEPTRI:** La sigla traduce “Sistema de Evaluación y propuesta de tratamiento de riesgos”, planteado por Martínez García, de la fundación Mapfre seguros, en el cual se presenta una formulación matemática y a la vez se introduce el concepto de riesgo aceptable:

$$\boxed{R = (P \times E \times I) / S}$$

donde; R: Evaluación de riesgo
P: coeficiente de probabilidad
E: coeficiente de exposición
I: Coeficiente de intensidad
S: Coeficiente de seguridad.

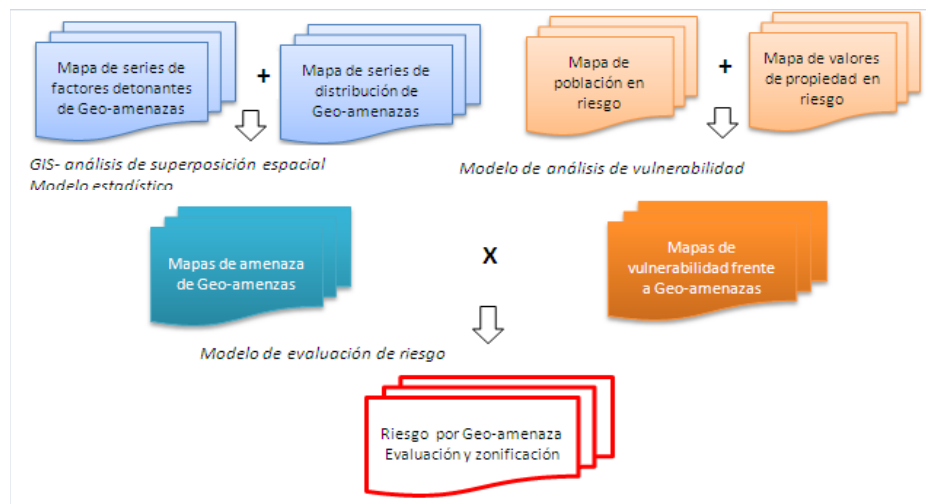
- **HRN “Hazard Rating Number”:** Su fundamento teórico es muy similar a los dos anteriores, aunque en este caso se evalúan las consecuencias del evento en función del daño a las personas y no como valor económico; también considera unos límites para la definición de riesgos aceptables. La formulación utilizada se detalla a continuación:

$$\boxed{HRN = E \times F \times M \times G}$$

donde; E: Posibilidad de exposición al peligro
F: Frecuencia de la exposición al peligro
M: Numero de personas sometidas al peligro
G: Máxima pérdida probable

- c. La Academia China de la tierra y los recursos económicos en 2003, presenta un esquema de evaluación de riesgos por amenazas de origen natural donde se presenta el concepto de riesgo como el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad.

Figura 1-7 Modelo de riesgo - Academia China de la tierra (traducido Cprieto).



- d. Diversos autores en relación al análisis de riesgos por deslizamientos han planteado una serie de formulaciones indicadas en la figura 1- 8, en donde también se indica el grado de “generalización” de cada una de ellas:

Figura 1-8. Formulaciones para estimación de riesgos.

	Risk formulation	Definition	Source
Level of Generalization in Definition of Risk ↑	Risk = Hazard × Consequences $R_s = H \times V$	Consequences: Potential worth of loss R_s : Specific risk, H: Hazard, V: Vulnerability	Einstein (1988) Varnes (1984)
	$R_t = R_s \times E = (H \times V) \times E$	R_t : Total risk, E: Elements at risk	Varnes (1984)
	$R_t = \sum (R_s \times E) = \sum (H \times V \times E)$	R_t : Total risk, R_s : Specific risk, V: Vulnerability, E: Elements at risk	Fell (1994)
	$R_s = P(H_i) \times \sum (E \times V \times E_x)$ $R_t = \sum R_s(\text{Landslide events } 1, \dots, n)$	R_s : Specific risk, R_t : Total risk, $P(H_i)$: Hazard for a particular magnitude of landslide (H_i), E: Total value of elements at risk, V: Vulnerability, E_x : Exposure	Lee & Jones (2004)
	$R(DI) = P(H) \times P(S/H) \times P(T/S) \times P(L/T)$	$R(DI)$: Individual risk, $P(H)$: Hazard, $P(S/H)$: Probability of spatial impact, $P(T/S)$: Probability of temporal impact, $P(L/T)$: Probability of loss of life for an individual	Morgan <i>et al.</i> (1992)
	$R(PD) = P(H) \times P(S/H) \times V(P/S) \times E$	$R(PD)$: Specific risk (property), $P(H)$: Hazard, $P(S/H)$: Probability that landslide impacts the property, $V(P/S)$: Vulnerability, E: Value of property	Dai <i>et al.</i> (2002)

Por otra parte, **Backlund and Hannu**¹² plantean que la calidad del análisis de riesgo está influenciada por tres factores fundamentales, uno relacionado con los resultados esperados (análisis cuantitativo o cualitativo), otro con los análisis preliminares que dependen en gran medida de la identificación de las amenazas y del análisis de consecuencias y finalmente de la estimación de riesgos como tal que involucra elementos de incertidumbre y sensibilidad del análisis. Este último elemento es de gran importancia en el análisis cuantitativo, pues en aquellos métodos en los que se hace uso de herramientas estadísticas son dos variables indicativas de la confiabilidad del análisis que se está realizando.

Figura 1-9. Factores que afectan la calidad de un análisis de Riesgos. Backlund and Hannu, 2006.



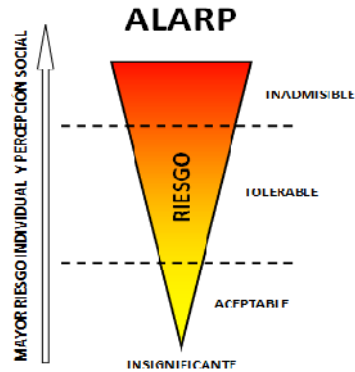
1.2 EVALUACIÓN DE RIESGO

“Siempre que sea posible, la estimación de riesgos debe basarse en un análisis cuantitativo, a pesar de los resultados pueden resumirse en una terminología cualitativa”. (Australien Geomechanics, 2000).

La evaluación de riesgo es probablemente el paso más importante en un proceso de gestión de riesgos, y también el paso más difícil y con mayor posibilidad de cometer errores. La evaluación del riesgo consiste en la comparación de los análisis de riesgo con el riesgo tolerable de una determinada comunidad o persona. En la figura 1-10, se muestra el riesgo tolerable como el área entre el riesgo aceptable y el riesgo inaceptable que ha sido definida como ALARP por su sigla en ingles y cuya definición es *“tan bajo como es razonablemente posible”*.

¹² Tomado de: Risk-based maintenance—Techniques and Applications. Arunraj, Maitiri (2006)

Figura 1-10. Esquema Riesgo - ALARP



13

Dai et al (2001) definen el riesgo tolerable como el riesgo con el cual la sociedad está dispuesta a vivir con el fin de asegurar ciertos beneficios, pero con la confianza de que están siendo controlados adecuadamente, sujetos a revisión y reducción. La definición de riesgo tolerable es un problema complejo que varía para los individuos y las sociedades. El riesgo aceptable tiene las siguientes características:

1. La decisión de aceptar el riesgo tiene un carácter beneficio/costo.
2. Aceptación del riesgo depende del grado de voluntad de las personas
3. La aceptación del riesgo se lleva a cabo ya sea a nivel personal, local, regional o nacional.

Generalmente el riesgo aceptable se presenta en pérdida de vidas por año. Los riesgos aceptables y tolerables varían de país a país y dentro de los países, dependiendo de la exposición histórica a los deslizamientos, y los sistemas de alertas tempranas y/o monitoreos existentes.

Fell (1994) y **Fell y Hartford (1997)** discuten sobre el nivel de riesgo aceptable (riesgo con el cual la sociedad está preparada para convivir), en el caso de personas podría aplicarse un valor de 10^{-3} , mientras que en propiedades se podría aceptar un riesgo, en términos de probabilidad, de 10^{-2} .

Dai et al (2001) indican que en Hong Kong, para deslizamientos de tierra y caída de rocas en terreno natural, la máxima cifra admisible de riesgo individual se fijó en 10^{-5} para nuevos desarrollos, y 10^{-4} para los desarrollos existentes. Para el riesgo de la sociedad, es importante reconocer que hay un grado de incertidumbre en el análisis y que los criterios de riesgo individual y social son sólo una expresión matemática de la tolerancia de la sociedad al riesgo. Ellos no son precisos, y deben ser utilizados sólo como una guía general.

¹³ Imagen tomada de: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/20292>, consultada el 07 de marzo de 2011.

Archetti y Lamberti (2003), en una cuenca de Italia afectada por flujo de detritos, proponen un valor de riesgo aceptable del orden de 10^{-4} , cifra que se aproxima al valor medio debido a muertes anuales por accidentes domésticos o de tráfico.

Tabla 1-2. Niveles de riesgo aceptable y tolerable, definido por varias fuentes. AGS (2000).

Source	Lower Bound (Acceptable)	Upper Limit (Tolerable)
Health and Safety Executive (1989a)	10^{-6} of dangerous dose equivalent to 0.33×10^{-6}	10^{-5} of dangerous dose equivalent to 0.33×10^{-5}
Health and Safety Executive (1988)	10^{-6} broadly acceptable	10^{-3} , divide between just tolerable and intolerable 10^{-4} any individual member of public from large scale industrial hazard
New South Wales Department of Planning (1994)		10^{-6} residential 5×10^{-5} residential
Hong Kong Government Planning (1994)	Not defined	10^{-5}
BC Hydro (1993)		10^{-4}
ANCOLD (1994) Existing dams		10^{-5} average 10^{-4} person most at risk
USBR (Von Thun, 1996)	None stated	
Finlay and Fell (1997)	10^{-5} to 10^{-6} 10^{-3} to 10^{-4} acceptable for property	10^{-3} tolerated

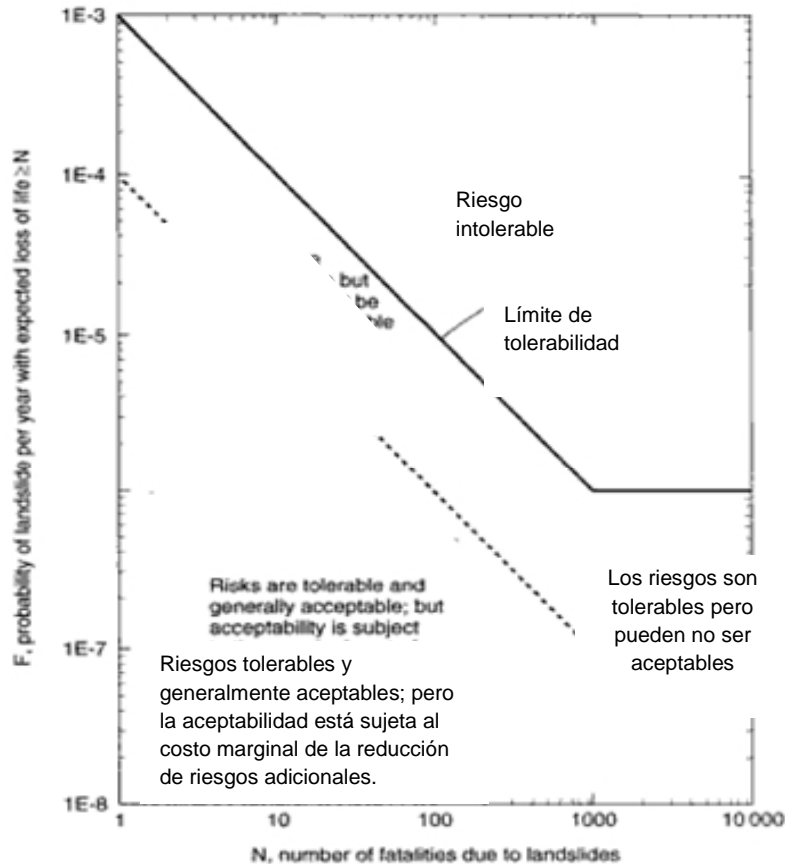
AGS¹⁴ (2000) indican la importancia de distinguir entre los riesgos aceptables que son aquellos que la sociedad desea alcanzar, en particular para los nuevos proyectos, y los riesgos tolerables que son aquellos con los que van a convivir, a pesar que, preferirían reducirlos. Por lo anterior, los Riesgos aceptables son generalmente considerados como un orden de magnitud más pequeño que los riesgos tolerables y en la mayoría de los casos son definidos por el cliente. En la tabla 1- 2 se indican diferentes valores de riesgos aceptables y tolerables determinados por diversos autores y autoridades estatales, relacionados con deslizamientos.

La aceptación social del riesgo por otra parte, está relacionada con las curvas F-N que muestra la relación entre la frecuencia de ocurrencia de eventos y la magnitud de las

¹⁴ Australian Geomechanics Society

consecuencias expresado en función del número de fatalidades. La Figura 1-11, muestra la curva presentada por **Glade yCrozier (2004)**.

Figura 1-11. Modelo de curva F-N. Glade yCrozier (2004).



La representación de las curvas F-N se apoya en el concepto de la curva ALARP y han sido tradicionalmente utilizadas en ámbitos que tienen relación con riesgos susceptibles de producir daños a las personas. Su desarrollo inicial se produjo en relación a la seguridad e higiene en el trabajo, motivo por el cual los efectos indeseados comúnmente se expresan en términos del número de víctimas derivadas del riesgo. Una de las ventajas de estas curvas es que permiten una comparación sólida entre distintos riesgos, pero su desventaja principal es que la medición de los riesgos se hace en términos del número de personas dañadas, pero no del grado de daño sufrido por estas personas, es por esto que generalmente se expresa como pérdida de vidas.

1.3 GESTIÓN DE RIESGO

“La Gestión de riesgos (traducción del inglés Risk management / Manejo de riesgos) es un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejarlo y mitigación del riesgo utilizando recursos gerenciales”.

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse.

Bravo (2009) indica que la gestión del riesgo de desastre¹⁵ se ha convertido en un tema de gran importancia debido al incremento de los desastres producidos en los últimos años, lo que ha provocado consigo un aumento en pérdidas humanas, económicas y materiales. En consecuencia, la tendencia actual es “centrarse en la reducción de riesgos y vulnerabilidades” para proporcionar una solución que pueda satisfacer a todos los agentes implicados en un desastre, desde el gobierno, las instituciones, entre otros, hasta lo más importante que son las personas afectadas y que en la mayoría de los casos son las que tienen menor información y desconocen los riesgos a los que pueden enfrentarse.

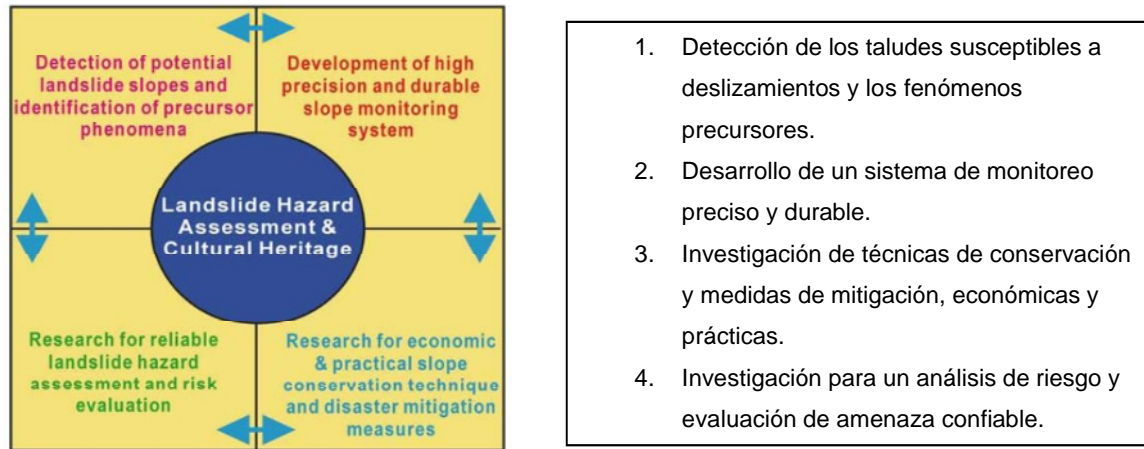
Keipi et al (2005) indican que el enfoque integral de la gestión del riesgo pone énfasis en las medidas “pre” y “post” y depende esencialmente de: (a) la identificación y análisis del riesgo; (b) la concepción y aplicación de medidas de prevención y mitigación; (c) la protección financiera mediante la transferencia o retención del riesgo; y (d) los preparativos y acciones para las fases posteriores de atención, rehabilitación y reconstrucción.

Sassa (1998)¹⁶ propuso el proyecto IGCP-425, inspirado en la conservación de herencia cultural como elemento expuesto frente a un proceso de remoción en masa, en el cual destaca los elementos indicados en la Figura 1-12.

¹⁵ Desastre: Evento natural, tecnológico o social cuyas consecuencias se basan en términos de heridos, destrucción, daño y disrupción. Perry y Quarantelli (2004) – tomado de Bravo(2009)

¹⁶ Sassa et al “*Landslides risk analysis and sustainable disaster management*”. 1998 pag. 6.

Figura 1-12. Evaluación de amenazas por deslizamientos y herencia cultural. Sassa (1998)



Se hace hincapié en el caso de este proyecto, el desarrollo de un sistema de monitoreo preciso y durable, y la investigación de técnicas de conservación y medidas de mitigación como dos elementos importantes dentro de la toma de decisiones que involucra la gestión del riesgo.

Sassa (2009) indica que la gestión del riesgo integra el reconocimiento y la evaluación de riesgo con el desarrollo de estrategias adecuadas para su mitigación.

La gestión general de riesgo de deslizamientos implica decisiones a nivel local, y la falta de información sobre el riesgo de deslizamientos y cómo este riesgo está cambiando a causa de factores como el clima, uso del suelo y otros factores, parece ser una limitación importante para proporcionar una adecuada mitigación.

La gestión del riesgo es una actividad sistemática de decisiones administrativas, institucionales, operacionales y habilidades para implementar políticas, estrategias y poder ejecutarlas frente a la sociedad o ante individuos para disminuir el impacto relacionado a los peligros ambientales, tecnológicos y naturales - **Strand et al.(2003)**- es importante también, para proteger a las comunidades y crear medios seguros, favoreciendo a una correcta toma de decisiones, ya que contribuyen a disminuir o reducir el impacto que pueda producir el desastre - **Sai Global (2003)**¹⁷.

Toda división o capítulo, a su vez, puede subdividirse en otros niveles y sólo se enumera hasta el tercer nivel. Los títulos de segundo nivel se escriben con minúscula al margen izquierdo y sin punto final, están separados del texto o contenido por un interlineado posterior de 10 puntos y anterior de 20 puntos (tal y como se presenta en la plantilla).

¹⁷ Tomado de Bravo (2009).

1.3.1 Medidas consideradas dentro de la gestión de riesgo

En la mayoría de los riesgos asociados con amenazas naturales, existen limitadas oportunidades para reducir la amenaza. En estos casos, el objetivo de las políticas de mitigación debe ser la reducción de la vulnerabilidad de los elementos y actividades en riesgo.

Las medidas de parte de las autoridades a cargo de la planificación o desarrollo para reducir la vulnerabilidad pueden clasificarse de manera amplia en dos tipos: activas y pasivas, **Jiménez (2004)**.

a. Medidas activas de mitigación

Son aquellas por medio de las cuales las autoridades promueven medidas convenientes ofreciendo incentivos, a menudo asociados con programas de desarrollo en áreas de bajos ingresos. Las medidas activas, aunque pueden ser más costosas al inicio, suelen producir mejores resultados en algunas comunidades porque tienden a promover una cultura de seguridad que se perpetua por sí misma, algunas de estas medidas son: planificación del control de distribución, capacitación y educación, subsidios para equipos seguros (material de construcción), disseminación de información al público, fomento de la toma de conciencia y creación de organizaciones comunitarias (alerta temprana). **Jiménez (2004)**.

b. Medidas pasivas de mitigación

Son aquellas por medio de las cuales las autoridades promueven medidas no convenientes usando controles y multas; estas medidas son usualmente más apropiadas para autoridades locales bien establecidas en áreas de mayor ingreso; entre ellas están: requisitos que se amolden a los códigos de diseño, verificación del cumplimiento de los controles en el lugar mismo, control de uso de la tierra, negación de servicios e infraestructura en las áreas donde el desarrollo es indeseable, seguros obligatorios, entre otros. **Wilchez Chaux (1989)**.

Los gobiernos y las principales agencias de desarrollo tienden a adoptar un enfoque piramidal en la planificación de la mitigación de desastres. Este enfoque lleva a que los beneficiarios reciban soluciones diseñadas para ellos por los planificadores, en vez de ser ellos mismos los que las seleccionen. Los programas de mitigación con base comunitaria tienen mayor probabilidad de resultar en acciones que son respuesta a las necesidades reales del pueblo y a contribuir con el desarrollo de la comunidad, de su conciencia de las amenazas que se enfrentan y a su capacidad de protegerse a sí mismo en el futuro. **Jiménez (2004)**.

1.3.2 Riesgo en: Transporte de fluidos peligrosos en ductos.

Ante el impacto que representa para la sociedad y las industrias del sector Hidrocarburos, la evaluación de riesgos en sus líneas de conducción, varias instituciones y autores han identificado en general cuales son los elementos que deben tenerse en cuenta dentro de los análisis de riesgo y cuáles son las principales causas de fallas en redes de conducción de líquidos peligrosos.

Brown y Dwyer (2005) ha desarrollado una metodología cualitativa para el análisis de riesgos para los ductos utilizados en el suministro de combustible para aviones, cuyo fundamento está en el protocolo desarrollado por el Departamento de Educación de California para la evaluación de ductos de materiales peligrosos trazados cerca de zonas escolares (URS 2002).

ELEMENTOS DEL ANÁLISIS

- Trazado de la tubería (alineamiento)
- Características de uso (caudal y presión de funcionamiento)
- Diseño de Ingeniería y características de seguridad
- Registros de fallas históricas en sistemas similares (frecuencia, magnitud, consecuencias).
- Gestión de riesgos y planes de respuesta/emergencia implementados.

QUALITATIVE ESTIMATES FOR A PIPELINE INCIDENT

Evaluation Criteria	Likelihood of a Pipeline Incident	Comments
Pipeline alignment, design, use, characteristics, and safety features	Low to Medium	The pipelines appear to be in a straight alignment along the perimeter of the subject site and emergency shut-off valves are located approximately 1 mile from the site. Operating pressure is high, which increases the relative risk of a failure.
Regulatory agency records of past incidents	Low	No incidents involving the two pipelines evaluated in this report are on record with the local fire department. Pipeline failure rates in general, and jet fuel pipeline failure rates in particular, are relatively low.
Failures in similar pipeline systems	Low	Failure rates in similar systems are quantitatively low. Fatalities or injuries occur with a frequency of only one incident per 3,571 miles per year.
Risk management and emergency response plans	Low	The pipeline owner and the local fire department maintain risk management and emergency response plans for pipeline emergencies and other catastrophes. The presence of risk management or emergency response plans should decrease the likelihood of a pipeline incident and the potential magnitude of those consequences.
Third-party dig-ins, corrosion, ground movement, construction or material defects	Low to Medium	Third-party dig-ins may occur more frequently in a highly urbanized setting such as the subject site. Corrosion problems and construction and material defects should be limited by the pipeline owners regular inspection and maintenance program. The subject site is located in a zone of relatively high seismic activity, however, steel pipelines are known to be resilient and accommodate ground movement well.

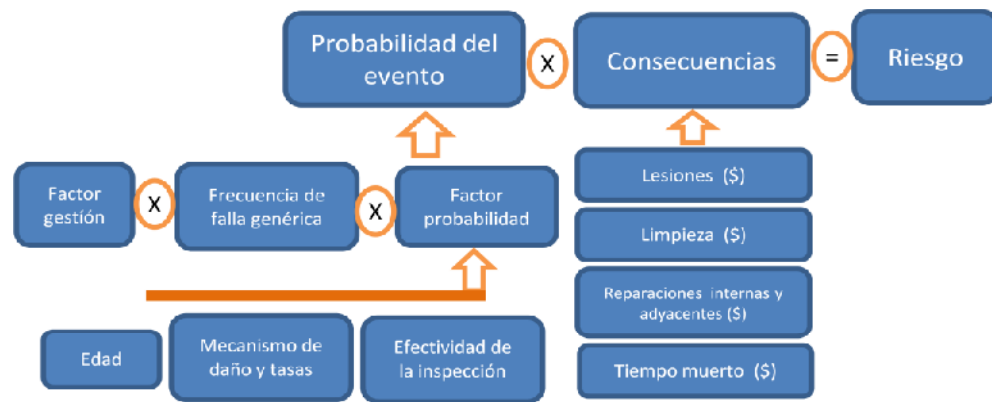
La probabilidad de cada tipo de incidente (causas de fallas) se clasifica de acuerdo con el nivel bajo, medio o alto con respecto a la del sitio. Este análisis de riesgo considera dos etapas:

- a. La probabilidad de falla de tuberías (fuga o rotura), que se calcula y compara con un nivel de falla aceptable y
- b. La magnitud de las consecuencias (incendio o explosión con resultado de muerte) que al igual que el anterior se estiman y comparan con un nivel aceptable.

Shiaw-Wen Tiena et al, (2007) desarrollaron un modelo en doble vía: construcción de un modelo inspección basado en el riesgo para las tuberías y la construcción de un modelo basado en el riesgo de tuberías como referencia para realizar la inspección. El modelo propuesto para la evaluación de riesgos se presenta en la Figura 7

Los objetivos del análisis RBI (*Risk based inspection*), son manejar, predecir e inspeccionar los mecanismos de daño y proporcionar un método de evaluación de riesgos que cumpla con la norma API 581 para la clasificación de riesgos de tuberías. El método RBI es distinto a las metodologías de medición usuales; en éstas la inspección interna se realiza una vez en algunos años y requiere de suspender las actividades y suspender la producción, lo cual puede ser bastante costoso. En cambio, el proceso RBI requiere más esfuerzo en el diseño y funcionamiento automatizado porque requiere cambiar los procedimientos de trabajo y desarrollar un sistema de manejo adecuado, que incluya la mayor cantidad de datos precisos para que la base de datos que apoya la toma de decisiones esté completa y sea confiable.

Figura 1-13. Modelo evaluación de riesgo. Shiaw-Wen Tien, et al (2007)

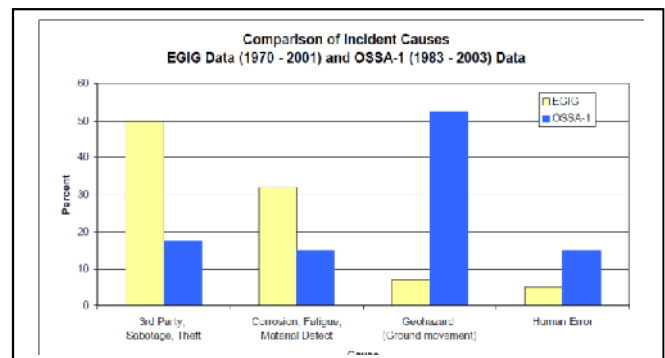


Causas de incidentes

Los autores **Savigny, Porter y Esford, (2004)** consideran las Geoamenazas como la principal causa de incidentes en tuberías ubicadas en los andes Sur Americanos. Esta afirmación la realizan basados particularmente en las investigaciones realizadas en el Proyecto

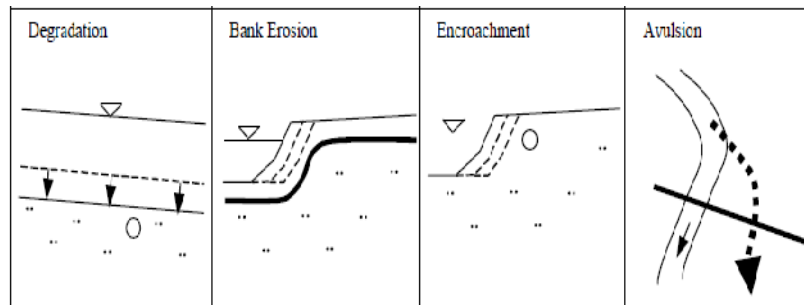
OSSA-1 ubicado en Bolivia y de acuerdo con los registros históricos:

1. Geo-amenazas - 52,5%
2. Corrosión y fatiga - 15%
3. Error Humano - 15%
4. Terceras partes - 7.5%
5. Sabotaje - 10 %

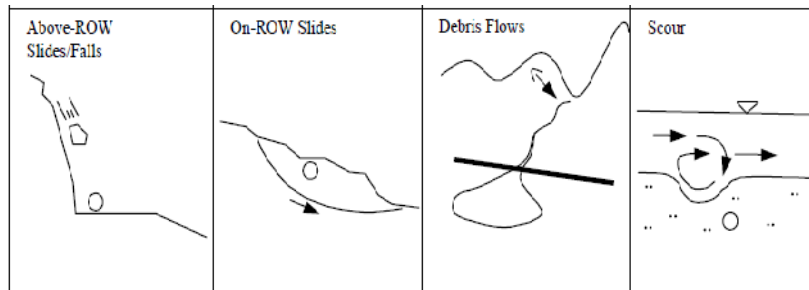


Estas Geoamenazas que afectan las líneas de conducción ON SHORE, pueden dividirse en tres categorías **Savigny, Porter (2004)**¹⁸:

- a. *Las amenazas geotécnicas* incluyen procesos tales como deslizamientos de tierra, flujos de lodo, hundimientos y la oscilación vertical del suelo. Los detonantes comunes son las lluvias de alta intensidad y corta duración, cambios en las condiciones de las aguas subterráneas, la erosión, la actividad sísmica, entre otros.

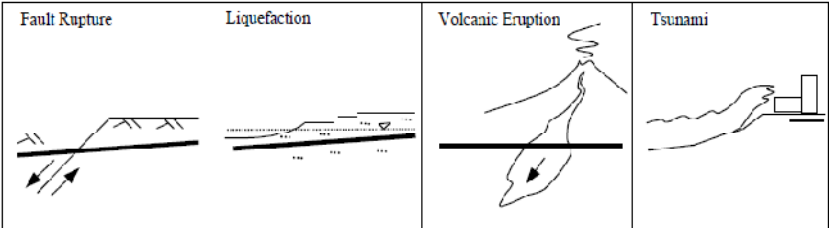


- b. *Las amenazas Hidro-técnicas* están asociadas con las corrientes de agua e incluyen los procesos de socavación, degradación de canales, erosión de orillas e invasión, entre otros. Entre los detonantes están las inundaciones, en el caso de los pequeños arroyos, alteraciones de corriente, canales, incluyendo los efectos de los deslizamientos de tierra, el cambio en la cubierta forestal, la degradación del permafrost, o la presencia de estructuras de control mal diseñadas que pueden aumentar el potencial de riesgo.



- c. *Las amenazas tectónicas* incluyen desplazamientos y rupturas, la licuefacción del suelo y la propagación lateral, tsunamis y erupciones volcánicas. A pesar de la poca frecuencia con la que se presentan estos eventos son de gran impacto en las regiones, causando daños a los oleoductos múltiples y / o varias secciones de un oleoducto de manera directa o indirecta.

¹⁸ Geohazard Risk Management for the Onshore Pipeline Industry, 2004



Jeglic (2004), en su investigación para la Oficina Nacional de energía de Canadá, afirma que el 8,7% de las fallas de tuberías de hidrocarburos ocurridas en éste país en los últimos 20 años, corresponden a las denominadas Fuerzas Naturales. En este mismo documento se hace una distinción entre las fallas que dependen del tiempo y las que son súbitas, para determinar sus efectos, esto se puede observar a continuación:

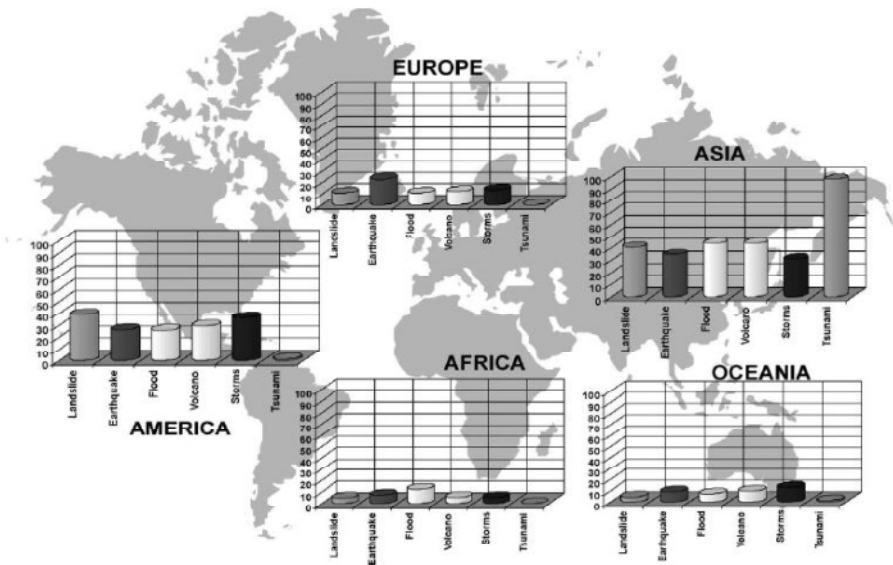
Tabla 1-3. Causas de falla de tuberías. Jeglic (2004).

Causa	Numero de rupturas	%
Corrosión externa	13	28,26% *
Corrosión bajo tensión	10	21,74% *
Daño por terceras partes	8	17,39% **
Fuerzas naturales	4	8,70%
Operacionales	3	6,52%
Defectos en el material	2	4,35% *
Fatiga	2	4,35% *
Otros	4	8,70%

* Dependen del tiempo

* Dependen del tiempo o en su efecto puede ser inmediato

Figura 1-14. Causa de falla de redes y su incidencia en cada continente. Alcántara, Ayala (2002)



The European Gas Pipeline Incident data group (EGIG) en la Figura 1-14 indica una serie de causas para fallas en redes cuya incidencia cambia dependiendo del continente; para América un porcentaje cercano al 40% corresponde específicamente a deslizamientos.

Según **(DOT-OPS)** las fallas en líneas de conducción se presentan por:

- a. Daños por fuerza exterior: Producidos por un agente externo generalmente durante la construcción o mantenimiento de los proyectos. Para efectos de ésta metodología dentro de este grupo se consideran los daños por atentados terroristas.
- b. La corrosión (externa e interna). El DOT-OPS atribuye a esta causa entre el 19 y 41% de los eventos entre 1994-2000.
- c. Movimiento de tierra. Se considera únicamente el análisis de los efectos de un evento sísmico.
- d. Defectos de construcción o de material. El DOT-OPS atribuye a esta causa entre el 9 y 20% de los eventos entre 1994-2000.

Aunque no existe coincidencia en las cifras que se presentan en las diferentes investigaciones, en mayor o menor escala los procesos de origen natural han sido identificados como causa de fallas en redes existentes y estructuras en general; más aún, es la capacidad para generar pérdidas económicas y humanas lo que ha hecho que se invierta un mayor esfuerzo en su investigación a través de los años.

1.3.3 Riesgo en: procesos de remoción en masa (Riesgo Geológico – Geotécnico).

“Riesgo Geológico es todo proceso, situación o suceso en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos” Domínguez (2003).

Los movimientos de ladera son procesos Geológicos que ha sido estudiados desde diferentes puntos de vista: factores que influyen en su génesis, tipología, cinemática, interrelación con otros fenómenos, etc. (Sharpe, 1938; Terzaghi, 1950; Skempton, 1953; Hutchinson, 1968; Varnes, 1978; Muller, 1979; Corominas y Alonso, 1984; Baeza, 1994). Los *deslizamientos* son procesos de degradación que involucran el desprendimiento, movimiento o transporte, y depósito de masas de suelo o roca debido a la falla del material, producto de incremento en las cargas o reducción en la resistencia.

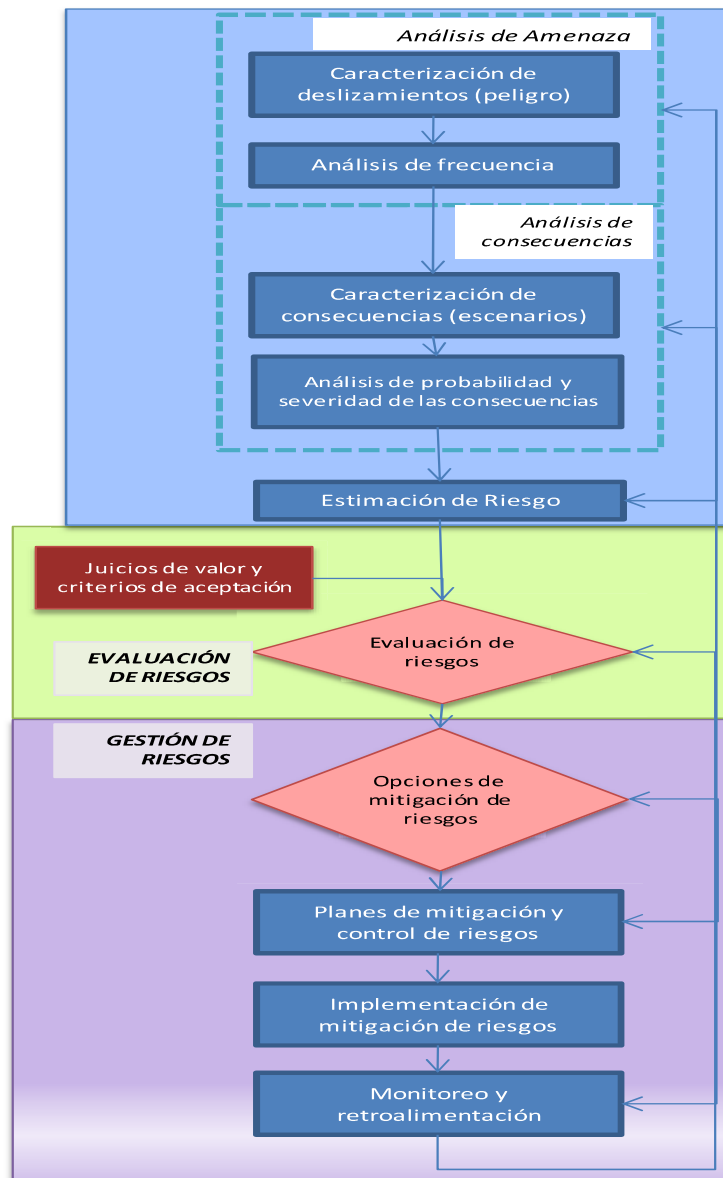
En la década de 1960 los desastres¹⁹ naturales comenzaron a ser investigados también desde la óptica económica con autores como Dacy y Kunreuther (1969), quienes por medio de fórmulas matemáticas calculaban el riesgo de acuerdo a la probabilidad de que el evento sucediera, basándose justamente en eventos ocurridos en el pasado y sus periodos de recurrencia, aplicado sobre todo a los ciclos de recurrencia de las inundaciones. Este razonamiento es utilizado en gran medida por las empresas aseguradoras ya que el riesgo se mide de acuerdo a las pérdidas económicas de los bienes sin tomar en cuenta los efectos sociales.²⁰

La Figura 1-15, resume el marco para la gestión de riesgo por deslizamientos (análisis de riesgo, evaluación de riesgo y gestión de riesgo), planteado por **Fell et al (2008)** y que ha tenido amplia aceptación y uso a nivel internacional independientemente del tipo de análisis que esté realizando.

¹⁹ Según Lavell (1993) los desastres naturales son eventos temporal y territorialmente segregados en donde la casualidad tiene que ver con los extremos en los procesos físicos naturales, aunque su bien la existencia en sí de un evento extremo no es sinónimo de desastre sin que tenga un efecto negativo para la sociedad.- *Tomado de Berrocal (2008)*

²⁰ Tomado de Berrocal (2008)

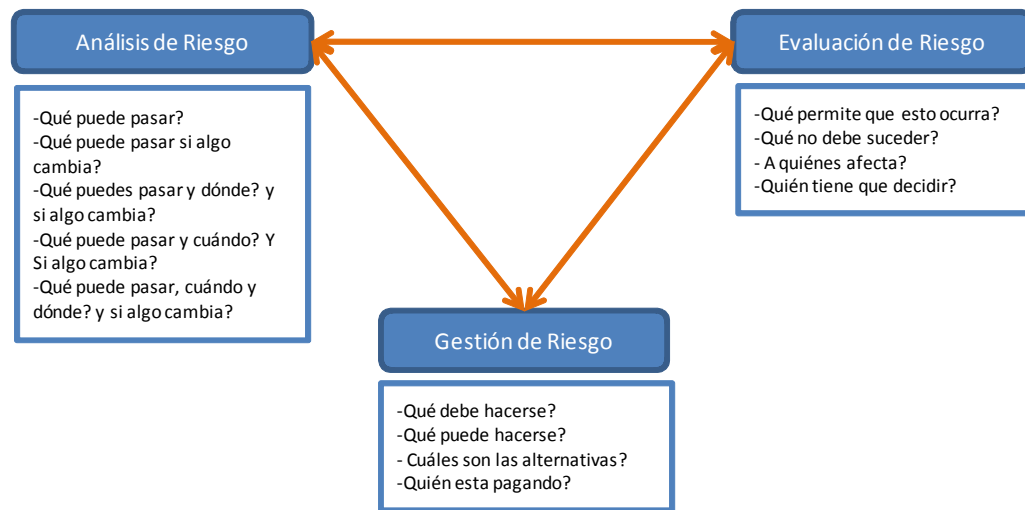
Figura 1-15. Esquema de gestión de riesgo propuesto por Fell et al (2008).



El análisis de riesgo involucra la caracterización del deslizamiento y la frecuencia correspondiente; el análisis de consecuencias incluye identificar y cuantificar los elementos en riesgo y su probabilidad espacio temporal. La evaluación de riesgo se hace comparando con los criterios de aceptación (cualitativa o cuantitativa). La gestión del riesgo involucra las medidas que se toman para mitigar los efectos, incluyendo los riesgos relativos como herramienta para priorizar la implementación de medidas de reducción del riesgo.

Bell y Glade, (2004)²¹ indican que la valoración del riesgo implica tres componentes iguales: análisis de riesgo, evaluación del riesgo y gestión del riesgo. El análisis es la aplicación de un método para obtener el riesgo en una determinada situación, para lo cual se usan métodos basados en ingeniería y ciencias de la tierra. La evaluación del riesgo utiliza métodos socio-científicos para identificar la percepción y aceptación del riesgo que tiene la gente involucrada. La gestión del riesgo involucra ambos elementos para encontrar la mejor solución. En la Figura 1-16, se presentan las preguntas frecuentes que se realizan en cada una de las tres componentes que describen los autores.

Figura 1-16. Esquema de gestión de riesgo propuesto por Bell y Glade (traducido Cprieto)



Porter et al (2006) han planteado para la gestión de riesgo en procesos naturales, el estudio del riesgo como una serie de fases que abarcan la determinación, estimación, evaluación y reducción del riesgo.

- FASE I - Análisis preliminar
- FASE II - Inventario de peligros y estimación preliminar del riesgo
- FASE III - Investigación detallada
- FASE IV - Evaluación del riesgo, análisis costo-beneficio
- FASE V - Acción, seguimiento y re-evaluación

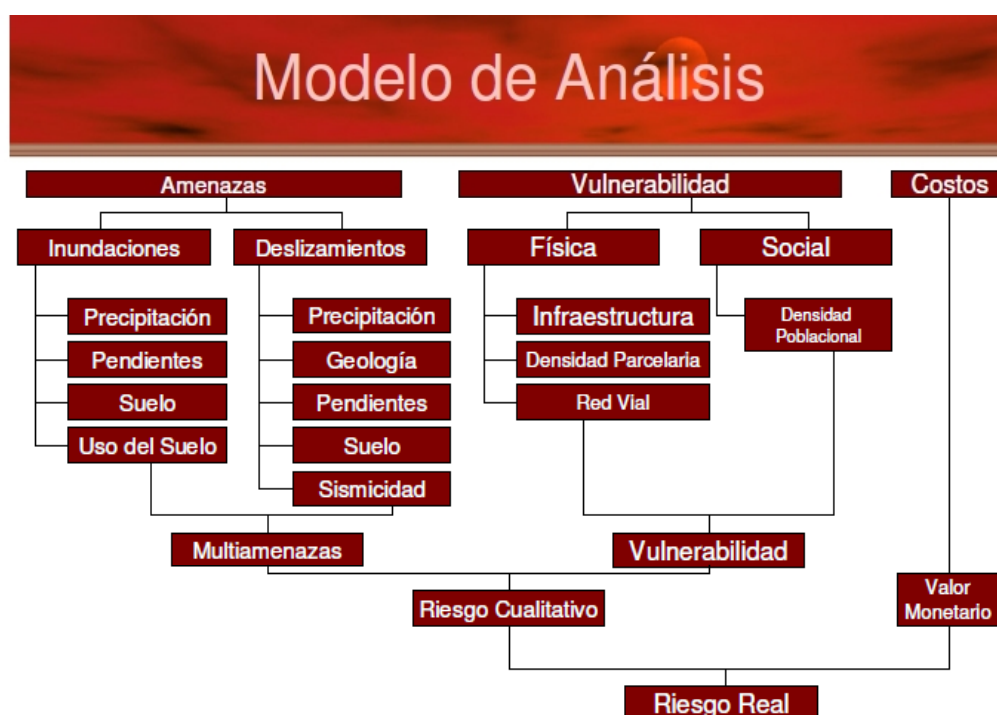
Las tres primeras fases se dedican a la identificación de amenazas, evaluación de la vulnerabilidad y estimación de riesgo. La cuarta fase trata de evaluar si el nivel estimado de riesgo es aceptable, y si no, determinar acciones correctivas a través de análisis de riesgo costo-beneficio. La quinta fase contempla la ejecución del control de riesgo,

²¹ Quantitative risk analysis for landslides – Examples from B'ildudalur, NW-Iceland

tomando medidas, haciendo seguimiento a los resultados, y evaluando si se alcanzó el nivel de reducción de riesgos deseado.

La Unesco y el Gobierno de Holanda establecen en el marco del programa RAPCA (Programa de acción regional para América Central), el modelo de geo zonificación de amenazas y mapeo de riesgo planteado en la Figura 1-17, donde se incluyen para las amenazas por inundación y deslizamientos, factores que inciden positiva o negativamente en la ocurrencia de estos procesos.

Figura 1-17. Modelo planteado para el proyecto RAPCA²²



²² Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del arenal de Monserrat, Instituto Geográfico Nacional (El Salvador) – Servicio Nacional de estudios territoriales, 1999.